



# TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA  
POLITÈCNICA SUPERIOR  
UNIVERSITAT DE LLEIDA  
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: Joel Guim Rius

Titulació: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol de Treball Final de Grau: **Estat de les tecnologies aplicades en el món de la competició a la F1 actual**

Director/a: **Xavier Terribas Sala**

Presentació

Mes: Juliol

Any: 2021

# **Contingut**

Llistat de figures.....	1
1. Introducció.....	2
1.1 Introducció.....	2
1.2 Motivació i Objectius.....	2
2. Xassís.....	3
2.1 La fibra de Carboni.....	4
2.2 Comparativa amb els materials més comuns en l'enginyeria: acer i alumini. ....	6
2.3 Elecció dels diferents materials que formen el xassís.....	9
2.4 Elaboració del xassís.....	12
2.5 Reglatge de la Suspensió.....	14
2.6 Frens.....	16
3. Aerodinàmica.....	18
3.1 Efecte Coanda.....	19
3.2 Efecte terra.....	21
3.3 Alerons.....	22
3.4 Difusor.....	24
3.6 Anàlisi de la carga aerodinàmica generada i del drag.....	25
3.6 Drag.....	27
4. Unitat de potència.....	31
4.1 Motor de combustió interna (ICE).....	32
4.2 Turbocompressor.....	32
4.3 MGU-K.....	33
4.4 MGU-H.....	34
4.5 Bateria.....	35
4.6 Centralita electrònica.....	35
4.7 Com interactuen entre ells?.....	36
5. Lleugeresa i seguretat.....	37
6. Prospectiva i Conclusions.....	39
7. Referències.....	40
7.1 Webgrafia.....	40

## **Llistat de figures**

[Figura 1] Xassís de fibra de carboni .....	3
[Figura 2] Rotllo de fibra de carboni .....	5
[Figura 3] Assaig de flexió de tres punts en Diolen, Innegra, Kevlar i Carbono .....	10
[Figura 4] Model en CAD del xassís .....	12
[Figura 5 ] Compactament de les capes de fibra de carboni.....	13
[Figura 6 ] Peça de fibra de carboni en el proçes” autoclave” .....	13
[Figura 7] Caiguda negativa dels pneumàtics.....	15
[Figura 8] La imatge de la Esquerra mostra la divergència “Toe-Out” i en la dreta la convergència “ toe-in” .....	16
[Figura 9] Pistons de fre .....	17
[Figura 10] Disc carbono-ceràmic.....	17
[Figura 11] Flux del aire a través d’un F1 .....	18
[Figura 12 i 13] Exemples pràctics del efecte Coanda.....	19
[Figura 13] Representació de la forma de llàgrima del F1 .....	19
[Figura 14] Il·lustració per entendre la explicació 1 i 2 .....	20
[Figura 15] Il·lustració per entendre la explicació 3 i 4 .....	21
[Figura 16] Efecte Venturi .....	21
[Figura 17] Il·lustració del pas del aire per sota el cotxe.....	22
[Figura 18] Direcció i sentit del “downforce” .....	22
[Figura 19] Flux d’aire a través del aleró davanter .....	23
[Figura 20] Perfil del ala d’un avió.....	23
[Figura 21] DRS.....	24
[Figura 22] Difusor d’un F1.....	25
[Figura 23] Interacció del aire amb les diferents parts del cotxe.....	26
[Figura 24] Superfície frontal vist des de davant. ....	28
[Figura 25] Coeficient de resistència aerodinàmica en diferents formes .....	29
[Figura 26 i 27] Impacte de la carrosseria del cotxe sobre el flux d’aire que travessa. ....	30
[Figura 28] Components de la unitat de potència. ....	31
[Figura 29] Recorregut dels gasos al llarg de la unitat de potència .....	33
[Figura 30] il·lustració del MGU-H.....	34
[Figura 31] Bateria i cablejat pertinent .....	35
[Figura 32 i 33] Imatge del Bugatti Chiron i Lamborghini Huracán respectivament.....	38

# 1. Introducció

## 1.1 Introducció

En el món dels cotxes superesportius s'apliquen un conjunt de lleis físiques i químiques per arribar a un objectiu comú, ser el millor, i res es deixa al atzar, tot té un perquè, una ciència darrere que explica el motiu per el qual els enginyers prenen les decisions que prenen, ja sigui en materials, conceptes aerodinàmics, tèrmics etc.

Encara es profunditza més si parlem de la Fórmula 1, la categoria reina del automobilisme en la que centraré gran part del treball, doncs es desenvolupa la major tecnologia en els diferents departaments de I+D que després, molts d'ells, acaben incorporant-se en els cotxes superesportius o inclús en els utilitaris que veiem a diari al carrer.

## 1.2 Motivació i Objectius

La meva motivació per a realitzar el treball sobre aquest tema ha estat la meva gran afició pels superesportius, en concret pels fórmula 1, com poden fer les corbes a tantíssima velocitat, com en només 750 kg pots col·locar-hi un motor de 1.000 cv i a la vegada son tant segurs en cas d'accidents a més de 300 km/h. Tot això des de ben petit que ho trobava increïble i ara que he estudiat enginyeria i se més de física que anys enrere, volia entendre els fenòmens físics que fan tots aquets aspectes mencionats possibles, els materials que hi intervenen i perquè, i així tenir una idea més realista del funcionament d'aquets cotxes, on molts dels quals intervenen també en cotxes de circuit, o superesportius de carrer com els Ferraris, Lamborghinis que tots coneixem i entendre que els fa tant especials, que no només tenen un aspecte que entra pels ulls, sinó que tot es funcional, tot té un perquè, cada entrada d'aire, cada forma de la carrosseria, on va col·locat el motor, les entrades i sortides de refrigeració d'aire d'aquest, la seva distància entre eixos, el seu aleró i un llarg etcètera que veurem més endavant.

## 2. Xassís

Es tracta de la part més important del monoplaça, i es la responsable de les claus del rendiment del conjunt i de la seguretat del pilot [Figura 1].



*[Figura 1] Xassís de fibra de carboni*

Crear un monocasc no és tan simple com afegir meticulosament capes de fibra de carboni a un motlle, sinó també comprendre com optimitzar el muntatge, el procés de laminació, el mecanitzat requerit i una vegada que el xassís ja sigui resistent després de haver passat per tantes etapes, la unió detallada necessària para muntar les peces i crear l'automòbil.

Essencialment, el monocasc esta format per múltiples capes de fibra de carboni, així com la majoria de peces aerodinàmiques d'aquest, per tant abans d'entrar en profunditat en com s'elabora el habitacle del pilot, anem a entendre com es i per que s'utilitza aquest material.

## 2.1 La fibra de Carboni

Està clar que avui dia la categoria reina l'ús d'aquest material està per tot arreu, però qui i com va ser el primer en donar aquest gran salt?

La fibra de carboni va començar a usar-se a la Fórmula 1 al començament dels anys 80. John Barnard, dissenyador de McLaren, va començar a estudiar hi ha desenvolupar l'ús de la fibra de carboni en la concepció del monocasc dels seus monoplaques després de comprovar les deficiències de aquest tipus de construccions d'altres materials lleugers. com ara l'alumini, usat comunament en l'època dels 70. Així va ser com el 1981, l'equip McLaren, després de molts problemes per a l'obtenció del material necessari, va presentar el seu primer monoplaça construït principalment en fibra de carboni, l'MP4/1, gràcies a el suport d'una companyia nord-americana anomenada Hercules Aerospace.

Tal atreviment va revelar l'escepticisme dels equips rivals, els qui ho van ratllar de "plàstic negre" i ironitzaven si es podria desintegrar en cas d'accident, ja que es tenien en coneixement les proves que havia realitzat Rolls Royce amb aquest material en motors dels seus avions i que no havien resultat de el tot satisfactòries, pel fet que es trencaven al xocar amb les aus. Però tots aquests dubtes van ser dissipades molt aviat, concretament al Gran Premi d'Itàlia celebrat a Monza d'aquest mateix any, quan John Watson, pilot de McLaren, va patir un terrible accident en què, a més de xocar contra les barreres a la sortida de Lesmo 1, el seu cotxe va patir una espectacular explosió. Moltes de les persones que hi eren presents van pensar que havia mort, però l'encara jove Watson no va trigar a sortir il·lès del seu cotxe. Acabava de convertir-se en el primer pilot a ser salvat per les bondats d'aquest material. "Si hagués tingut aquest accident en un habitacle tradicional d'alumini, imagino que hauria resultat ferit perquè l'alumini és molt menys resistent que el carboni", va afirmar llavors Watson. Així va ser com McLaren va començar a prendre la davantera en aquest terreny, ja que el seu cotxe no només era el més lleuger, sinó que també era molt ràpid, com van confirmar amb la victòria del Gran Premi de Gran Bretanya de 1981.

Així doncs, convençuts que es el material ideal, ara ve la gran pregunta: **Què és la fibra de carboni?**

La fibra de carboni és un polímer no metàl·lic entre tres i cinc vegades més lleuger que l'acer i unes sis vegades més resistent a la fatiga que aquest. Al ser un material compost, necessita d'un altre material per a tenir les propietats pertinents i obtenir els resultats desitjats, ja que de manera individual no hi podria arribar. Al fer qualsevol peça de fibra de carboni, aquesta s'endureix gràcies a la resina. La resina que s'utilitza en F1 sol ser resina del tipus epoxi, d'alta resistència química i mecànica. La fibra de carboni és el material resultant d'un molt complex sistema de producció i elaboració, procés a què li deu el seu altíssim preu. El carboni és un polímer semblant a el grafit, i s'obté després d'una reacció entre propà i amoníac, amb el que s'obté acrilonitril, el qual al seu torn es transforma en poliacrilonitril després de la polimerització. Un cop obtingut aquest polímer (substància química d'elevada massa molecular) es pot procedir a l'estirament d'aquest per obtenir l'eix de la fibra, i després s'oxida a uns 300 °C, la qual cosa elimina l'hidrogen i afegeix oxigen a la molècula. És en aquest procés on el polímer adquireix el seu color negre.

Després d'això, necessita ser purificat per carbonització, el que significa escalfar el polímer a uns 2.500°C en un entorn ric en nitrogen que expulsa les impureses fins que el polímer conté un 95-100% de carboni, en funció de la qualitat de la fibra. Per finalitzar el procés, només queda entrellaçar les fibres en unes complexes màquines teixidores per aconseguir el entrecreuat desitjat i obtenir el rotllo amb aspecte de 'tela' en fibra de carboni [Figura 2].



*[Figura 2] Rotllo de fibra de carboni*

Així doncs, resumidament, la fibra de carboni com a tal no és el material que ens trobem en els cotxes (ni en els avions, ni en les bicicletes ni en els reforços estructurals en bigues i pilars d'edificis), ja que aquesta és només "un ingredient ". La fibra de carboni s'utilitza com a component en els anomenats materials compostos o compòsits, generalment combinant-la amb plàstics termoestables com resina epoxi, donant així lloc al que coneixem com CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic). Així, "es fa una barreja" de fibra de carboni i resina per donar lloc a aquest material que s'usa en la indústria de la F1 i que en teoria hereta el bo de cadascú: la gran resistència i lleugeresa d'un, i la capacitat d'adoptar i mantenir una forma. Cada rotllo de fibra de carboni pre-impregnada sol ser de 50 metres de llarg per metre i mig d'ample. Si tenim en compte que un metre quadrat de fibra de carboni pre-impregnada sol costar entre els 100 i els 150 euros, cada rotlle pot arribar a costar més de 6.000 euros.

## **2.2 Comparativa amb els materials més comuns en l'enginyeria: acer i alumini.**

Per començar, vull definir la diferencia entre rigidesa i resistència, aquest primer és la capacitat de un cos, element o estructura a suportar càrregues sense deformar-se, mentre que la resistència és resistir càrregues sense trencar-se.

Un dels paràmetres utilitzats per mesurar com de rígid és un material és el mòdul d'elasticitat o mòdul de Young. Es defineix com la relació entre la tensió uniaxial i l'allargament unitari uniaxial en el rang de tensions en el qual es compleix la llei de Hooke (és a dir, abans d'arribar al límit elàstic).

	Alumini	Acer	Fibra de carbono
Mòdul de Young (Gpa)	6.3-7	19.5-21	30-50

*Taula comparativa del Mòdul de Young*



A més de la resistència i la rigidesa, una altra propietat crucial per als enginyers de disseny és el pes d'un element, que està determinat per la densitat.

La rigidesa del material és mesura amb el mòdul de Young. No obstant això, aquest paràmetre per si sol no és suficient per especificar la rigidesa del material, sense tenir en compte el pes de l'element donat.

Per exemple, en el cas d'un quadre de bicicleta (dimensions, geometria, gruix de paret) fet dos metalls diferents: acer i alumini, l'acer exhibirà 3 vegades més rigidesa que l'alumini. No obstant això, si també tenim en compte el pes dels elements, llavors el marc d'acer, encara que té 3 vegades més rigidesa que el d'alumini, també serà 3 vegades més pesat.

La resistència no només depèn del material i el gruix d'una secció, sinó també de la seva geometria. En realitat, hi ha molts factors diferents, però és la relació entre la rigidesa d'un material i el seu pes el denominador comú i simplifica la comparació i l'anàlisi de diferents materials.

La relació entre la rigidesa i el pes (és a dir, un mòdul específic) és en la pràctica la més efectiva per determinar la rigidesa d'un material, ja que per a la majoria dels enginyers de disseny, tant la rigidesa com el pes són els paràmetres més importants. La fibra de carboni és un material que ofereix rigidesa i resistència a baixa densitat, que és més lleugera que l'alumini i l'acer, i proporciona molts beneficis pràctics. Pes per pes, la fibra de carboni ofereix de 2 a 5 vegades més rigidesa (depenent de la fibra utilitzada) que l'alumini i l'acer. Les següents taules comparen la rigidesa i la resistència al dany per a diferents materials de el mateix pes. Per a fins d'anàlisi, es va aplicar fibra de carboni de dues direccions, una de les més utilitzades per a la fabricació de materials compostos.

	Alumini	Acer	Fibra de carbono de dos direccions
<b>Rigidesa contra el pes</b>  (Mòdul específic) Unitat: $10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$	26	25	56
<b>Resistència al dany</b>  (Força específica) Unitat $\text{kN} \cdot \text{m} / \text{kg}$	214	254	392

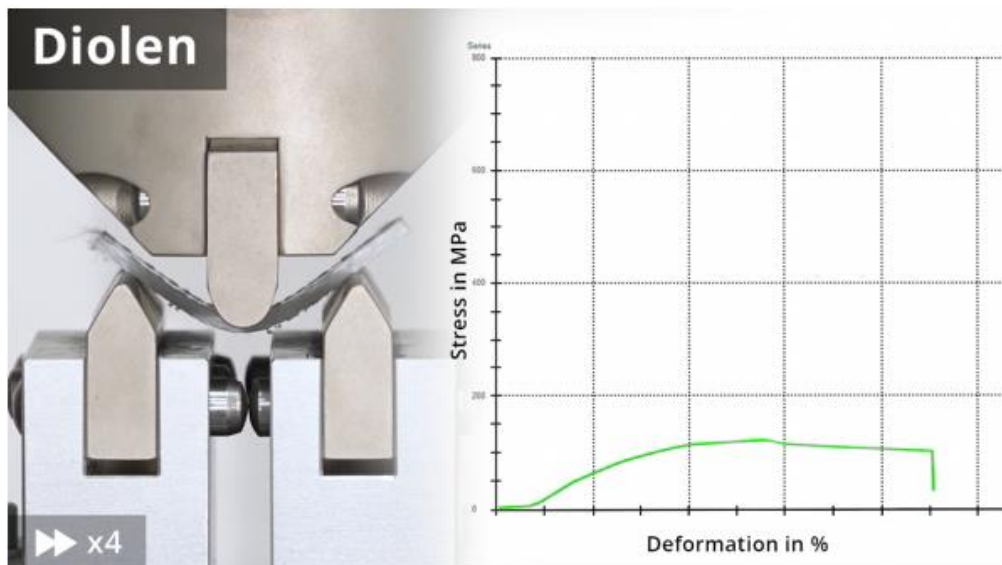
*Anàlisi d'alumini, acer i fibra de carboni pel que fa a la rigidesa contra el pes i la resistència al dany*

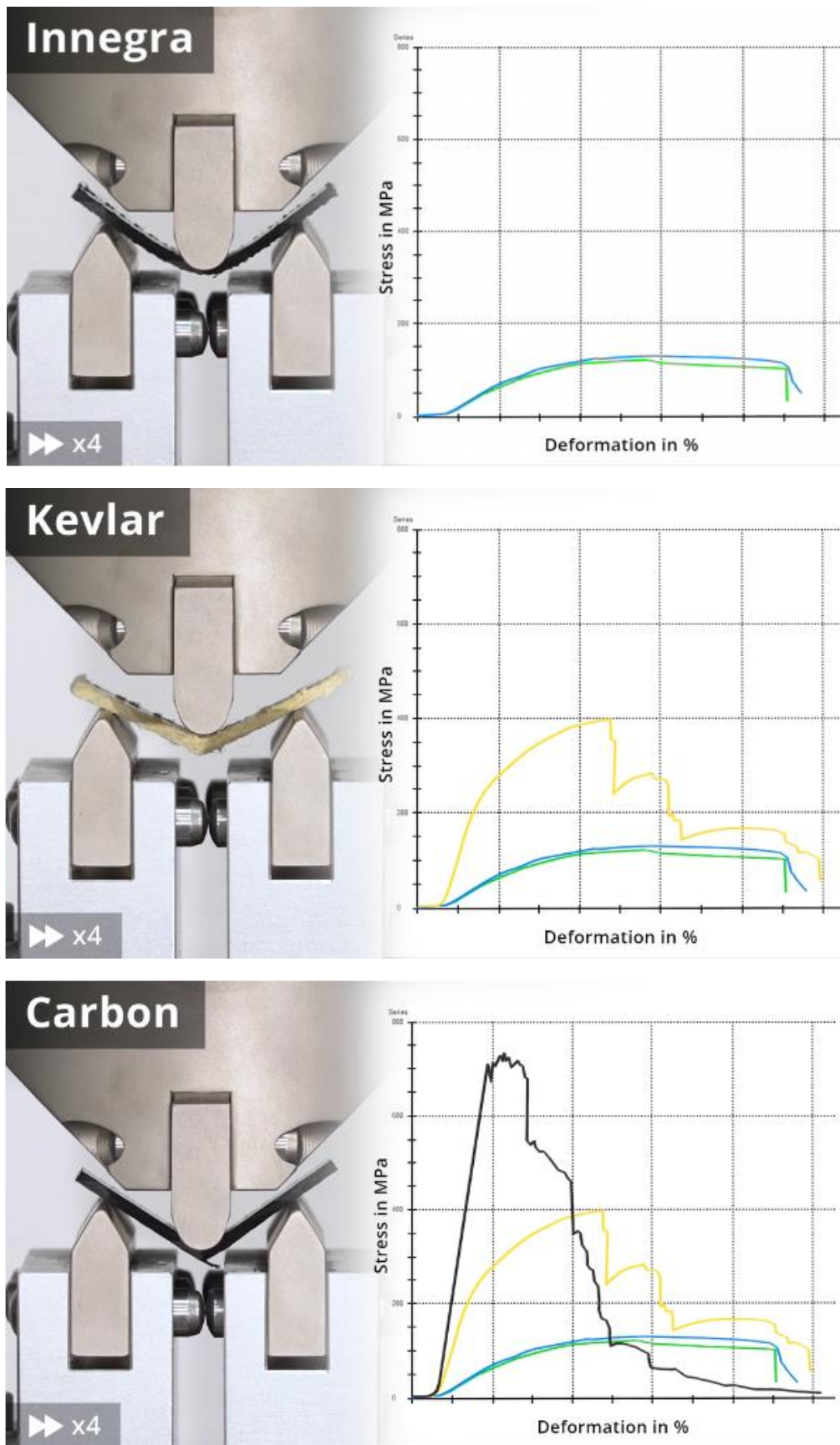
## 2.3 Elecció dels diferents materials que formen el xassís.

Ja hem vist que la fibra de carboni és millor que l'acer o l'alumini, però que passa si el comparem amb altres materials utilitzats en la indústria aeronàutica i que podríem traslladar aquí, com triem la combinació de materials que ens donaran l'estructura òptima pel xassís, que recordem que no només a de ser lleugera i resistent a esforços de tracció i compressió, sinó també a impactes penetrants com podria passar amb la col·lisió amb un altre cotxe.

Per l'exemple anem a ficar a prova 4 materials molt utilitzats en aquesta indústria per a suportar impactes: Kevlar, Diolen Innegra i Carboni.

Per a la primera prova, farem el assaig de flexió de tres punts, que ens donarà valors per saber el mòdul d'elasticitat, tensió de flexió, deformació per flexió i la resposta tensió-deformació de flexió del material.





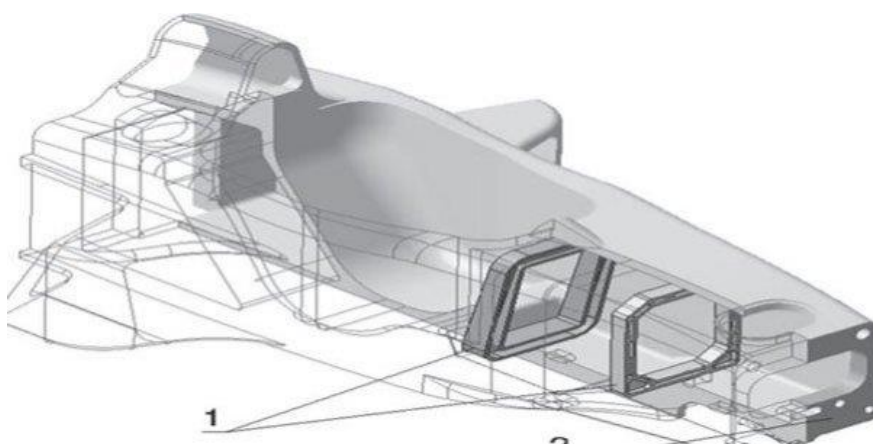
[Figura 3] Assaig de flexió de tres punts en Diolen, Innegra, Kevlar i Carbono

Com podem veure en la figura 3 la fibra de carbono és el material més rígid, però quan falla, ho fa de forma brusca i sobtada i podem trencar amb les nostres mans el carbono de la proba un cop suportat els esforços, doncs queda molt danyat, en canvi kevlar no soporta tanta força però cau de forma més progressiva i segueix sent resistent quan acaba les probes, per tant sembla una bona combinació per a elaborar una peça que necessitem que sigui molt resistent i que mantingui una certa estructura un cop absorbit el esforços que es poden produir en un accident, és per això que el monocasc del cotxe està compostat per diferents materials com kevlar o zylon apart del principal element, el carbono i per això també, els alerons que només estan fabricats en carbono, queden destruïts a trossets després d'un accident, ja que al destruir-se així han absorbit la màxima energia durant l'impacte tot i que després queda irreconeixible.

Per altra la banda, el diolen i la innegra son molt constants i poden suportar, encara que no tant gran, un esforç constant al llarg de la deformació fins al punt on ja fallen, però que si no i arribem, el material quedarà en bon estat, tots dos son materials molt útils ja que per exemple la innegra té la mitat de densitat del carbono i costa la meitat produir-lo, per tant en un escenari on no fos tant necessària la resistència, sinó el pes o el cost, seria una molt bona opció però no es el nostre, ja que està en les mans del material que elegim, la vida del pilot.

## 2.4 Elaboració del xassís

La fabricació del xassís és la que comporta més temps i en la qual no s'admet el més mínim error de producció, ja que podria arruïnar mesos de dur treball. Per a qualsevol peça que es fabriqui a fibra de carboni es necessita el seu corresponent motlle. El primer pas en el procés és la creació del model en CAD [Figura 4]. Després es mecanitzarà amb una fresadora en un material tou i es tracta d'una rèplica a una mida completa de la forma externa i les dimensions del monocasc, a partir de la qual es crearà un motlle, aquesta a de ser molt precisa i tenir un excel·lent acabat superficial.

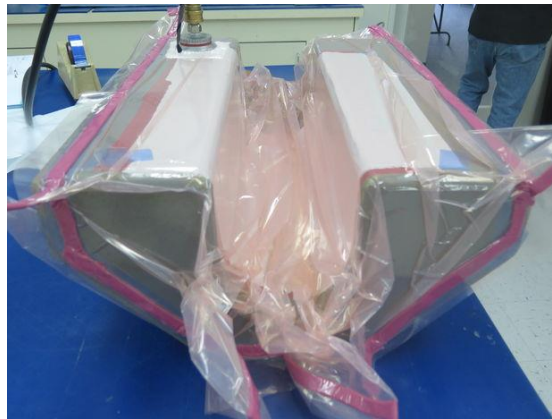


*[Figura 4] Model en CAD del xassís*

Aquesta replica forma la base per al motlle de fibra de carbó. En essència, lo que crea és una imatge negativa del xassís en la que es poden aplicar les capes finals de fibra de carboni per formar el monocasc.

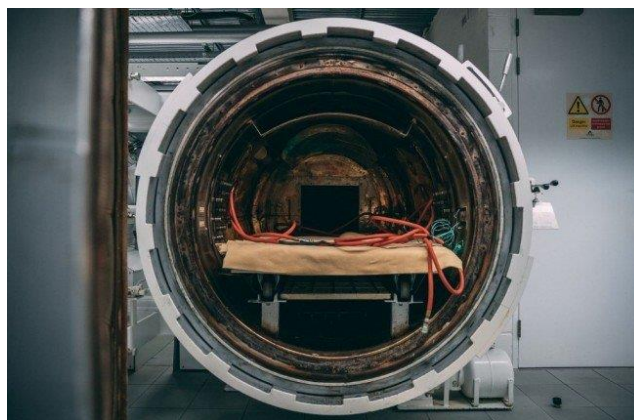
Aquí en aquest motlle és on s'enganxaran les capes de fibra de carboni seguint les especificacions d'orientació dels plans dissenyats pels enginyers. Això és de vital importància a l'hora de confeccionar una peça en aquest material, ja que l'orientació de les fibres determinarà en gran mesura la resistència a la fatiga d'aquesta peça i la seva flexibilitat. Normalment cada peça es construeix amb capes de fibra en diferents direccions. Per obtenir un gruix d'aproximadament 1 mil·límetre calen unes 3 o 4 capes de fibra de carboni. El gruix d'un xassís actual estaria entre els 3 i 5 centímetres.

En la fabricació del monocasc es porta a terme una sèrie de "de-bulks" o compactaments [Figura 5] que consisteixen a sotmetre a pressió a el buit a les capes col·locades en el motlle cada 3 o 4 aplicacions durant un temps determinat. Això assegura una compactació perfecta de les capes de fibra de carboni entre si abans de el procés de curat. Entre aquestes capes de fibra de carboni s'hi afegeixen altres materials com alumini en forma de panel de abella i altres materials com el Zylon i Kevlar per augmentar la seva seguretat en cas d'impacte com e explicat anteriorment.



*[Figura 5 ] Compactament de les capes de fibra de carboni*

Quan s'han acabat d'enganxar totes les capes de fibra unes sobre unes altres en el motlle, arriba l'hora de 'cuinar-les' procés anomenat com “autoclave” al forn perquè la resina s'assequi i la peça obtingui la rigidesa desitjada [Figura 6]. La resina que porta impregnada cada capa determina el grau de rigidesa final. Així és com els equips poden aportar més o menys flexibilitat a l'hora de fer, per exemple, un aleró frontal.



*[Figura 6 ] Peça de fibra de carboni en el procés "autoclave"*

El monocasc està construït en dues parts, una superior i una altra inferior, i és increïblement complexa. En total, hi ha unes 600 operacions de laminació separades, 30 operacions de reducció de buit i 10 cicles complets de curat en autoclave, tots construïts amb sis materials diferents de fibra de carboni, vuit materials de nucli de niu d'abella diferents i tres adhesius diferents .

Després de laminar el monocasc, aquest va al taller d'acoblament de composites, on s'agreguen més detalls. Encara ha de ser mecanitzat per permetre que els components s'hi cargolin o s'enganxin a ell inclouen les estructures de xoc deformables estandarditzades en cada costat, els elements auxiliars del pontó i una sèrie de peces unides externament.

Un cop completat, el xassís es lliura a el taller de pintura, abans d'arribar finalment a l'àrea de construcció d'automòbils de la fàbrica, on s'agregaran els sistemes de la unitat de potència, la suspensió, el sistema hidràulic i l'electrònica per convertir-lo en un automòbil de ple funcionament.

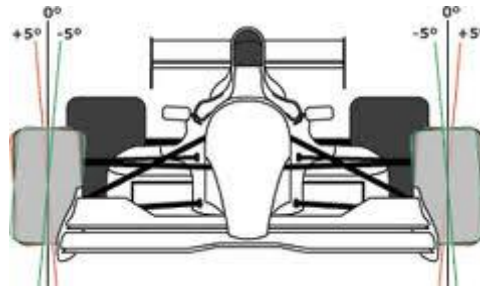
## 2.5 Reglatge de la Suspensió

Per a adaptar el cotxe a cada pista, els enginyers tenen una sèrie de factors, que juntament amb el pilot poder adaptar per a millorar el seu comportament, a continuació, nombraré els més importants

**-Amortidors, barres estabilitzadores i motlles:** Tenen un seguit de combinacions molt complexes i diverses, però per norma general, fer una suspensió més tova d'un eix sol oferir una major adherència mecànica però menys adherència aerodinàmica, per tant s'ha de buscar un punt mitjà, ja que per l'aerodinàmica lo ideal seria una suspensió molt rígida que provoqués que el xassís estigués sempre en la mateixa posició respecte la pista, per tant podríem concloure que una suspensió tirant a rígida seria per a un circuit amb corbes d'alta velocitat, i en canvi una més tova seria per un circuit més revirat, on predominin les corbes lentes i/o amb sots.



**-Caigudes dels pneumàtics:** Es l'angle que forma l'eix vertical de les rodes respecte l'eix vertical del cotxe mirat frontalment. El més comú son caigudes negatives, que per entendre'ns es com si les rodes s'apropen per la part superior, i s'allunyen per l'inferior [Figura 7].

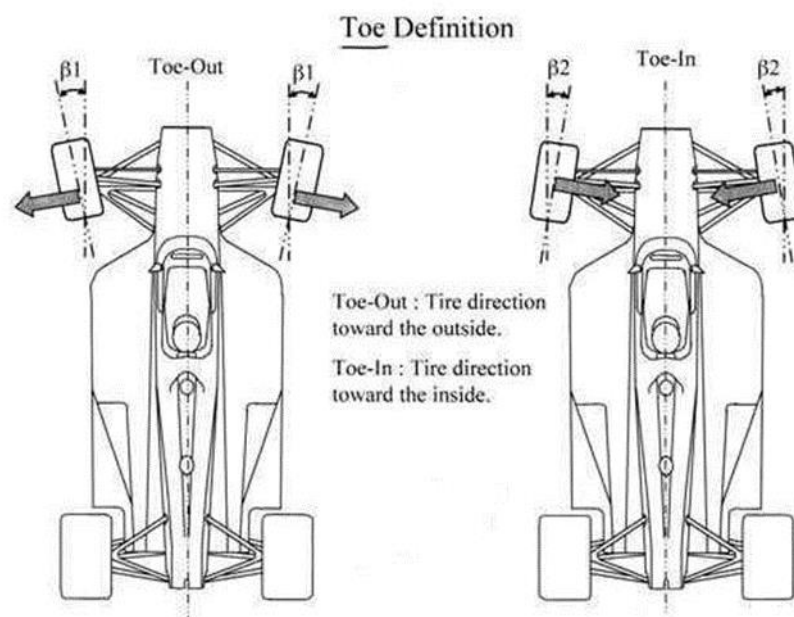


*[Figura 7] Caiguda negativa dels pneumàtics*

L'ideal és que el pneumàtic estigui en contacte amb la pista en les millors condicions que seria perpendicular al terra, però en un circuit hem de considerar les variacions dinàmiques del cotxe, com balanceja en una corba, etc. Tots aquets fets fan variar la posició del pneumàtic durant la volta i perjudiquen el seu desenvolupament.

Per norma general, l'òptim és que en les corbes, siguin les rodes exteriors les que estiguin perpendiculars al terra, és per això que s'utilitzen les caigudes negatives i així compensar el balanceig del cotxe. Una forma de comprovar si l'angle de caiguda és l'ideal és mesurant la temperatura del pneumàtics, si la part inferior te més temperatura que l'exterior significa que es recolza més, i per tant la caiguda negativa és massa elevada, i si és al revés, significa que aquesta caiguda negativa hauria de ser més elevada.

**-Convergència/Divergència:** Quan veiem un F1 des de dalt, ens podem donar compte que les rodes davanteres no estan perfectament paral·leles, per què? Doncs perquè si s'apropen per la part posterior de les rodes "divergència" obtenim que la direcció tendeix a anar-se'n pels costats, fet molt útil en les corbes i que explica perquè un F1 té tantíssima tendència a girar [Figura 8], en canvi si s'apropen per la part davantera "convergència", la direcció es propensa a ficar-se recta per si sola, i és el tipus de situació que ens trobem en els nostres utilitaris.



[Figura 8] La imatge de la Esquerra mostra la divergència "Toe-Out" i en la dreta la convergència "toe-in"

## 2.6 Frens

La frenada és el primer element en la fase de corbes. Si el cotxe no desaccelera en el punt correcte i amb la pressió adequada sobre el pedal, comprometrà les fases restants com tocar el vèrtex per seguir la traçada correcta millorant així el pas per corba.

La forma de frenar és de manera similar a d'un automòbil convencional, quan el pilot trepitja el pedal de fre, comprimeix dos cilindres mestres del fre, un per a les rodes davanteres i un altre per les del darrere, que generen pressió de fluid. A la part davantera el sistema és molt senzill: la pressió del fluid es lliura directament a les pinces

de el fre davanter. Dins de cada pinça, 6 pistons subjecten uns coixinets contra el disc i és aquesta fricció la que frena el cotxe [Figura 9]. En canvi, a la part del darrere, les rodes poden ser desacelerades per tres fonts separades: la fricció dels frens, la resistència del motor giratori anomenat fre motor i, finalment, la frenada que resulta de la recuperació d'energia per part del motor elèctric híbrid MGU-K del que parlarem més endavant en l'apartat de la unitat de potència.



*[Figura 9] Pistons de fre*

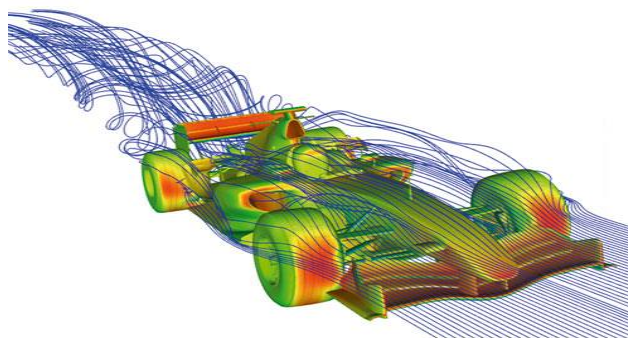
Les temperatures màximes per als discos de fre poden arribar 1000 ° C o més, és per això que no son del mateix materials que als cotxes utilitaris, ja que es fatigarien, sinó que són carbono-ceràmics [Figura 10]. Els discos de carboni poden gestionar fàcilment aquestes temperatures màximes individuals, però les altes temperatures durant un període prolongat poden crear alguns problemes. El refredament es realitza principalment en les rectes, quan el cotxe circula a altes velocitats, el que permet que passi molt aire a través dels conductes de fre. En un circuit com Mònaco, per exemple, refredar els frens pot esdevenir un problema real tot i les velocitats relativament baixes, ja que hi ha molts revolts i, per tant, molt frenat amb rectes molt curtes entre mitjanes.



*[Figura 10] Disc carbono-ceràmic*

### 3. Aerodinàmica

Segons la enciclopèdia catalana és la branca de la física que estudia els fenòmens que es produeixen en tot moviment relatiu entre un cos i un fluid (gas o aire). Per tant, analitzarem com es comporta l'aire al entrar en contacte amb les diferents superfícies del nostre fórmula 1 [Figura 11].



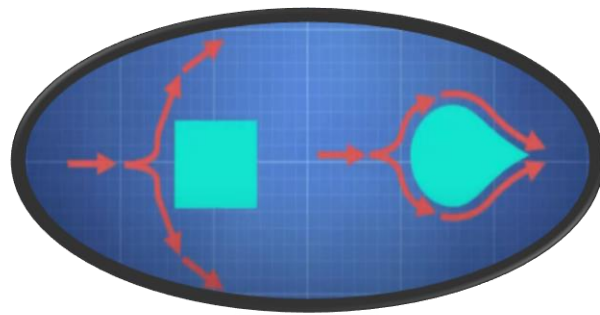
*[Figura 11] Flux del aire a través d'un F1*

El correcte estudi d'aquest apartat, sol ser el factor més diferencial entre les diferents escuderies de la competició, inclús, la màxima diferència entre aquets i qualsevol altre tipus de automòbils, ja siguin superesportius o utilitaris.

En aquest punt em de distingir 2 aspectes diferents, el "drag" o resistència aerodinàmica i el "downforce" o carga aerodinàmica. El drag és la resistència que ofereix l'aire a que el nostre automòbil el travessi, com més alt sigui aquest factor, més ens constarà tenir una bona velocitat màxima, també influeix en l'acceleració del cotxe però no tant. Després tenim el downforce, que és la força extra que el cotxe exerceix verticalment sobre el terra, com més alta sigui, més capacitat de tracció te el cotxe, i menys "tyre slide" o patinatge de roda tindrem, fet que ens interessa i molt al sortir de les corbes ràpides, per poder accelerar abans sense que el cotxe ens patini o inclús faci una virolla. Per aconseguir aquesta carga aerodinàmica hem de dissenyar un bon conjunt, format per un aleró davanter, els "bargeboard" que es la part intermèdia del automòbil, i finalment l'aleró posterior, el fons pla i el difusor, situats en la part final del monoplaça. Ara centrem-nos en els apartats físics que es produeixen en els monoplaça, buscats pels enginyers per intentar ser els mes ràpids possibles.

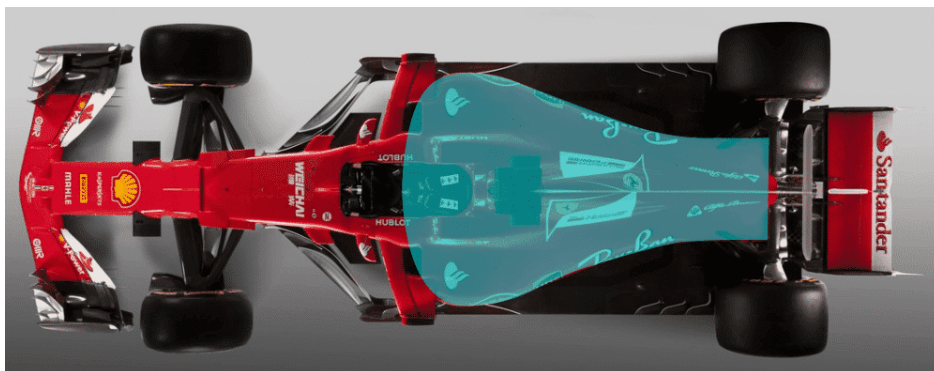
### 3.1 Efecte Coanda

L'efecte Coanda és el fenomen físic que s'estudia en la mecànica de fluids en el qual un corrent de fluid (gasós o líquid) tendeix a ser atret per una superfície veïna a la seva trajectòria. [Figura 12 i 13]



*[Figura 12 i 13] Exemples pràctics del efecte Coanda*

S'anomena així en honor a l'enginyer aeronàutic romanès Henri Coandă, que va descobrir l'efecte en el seu prototip d'un avió de reacció. Que l'aire vagi pegat a la carrosseria ens ajuda moltíssim a canalitzar l'aire cap a les zones que volem, com el fons pla, difusor i alerons que afecten directament a l'adherència del cotxe sobre la pista. Si per la superfície per on flueix l'aire hi ha un canvi brusc o artístes, aquest se'ns desenganxaria, és per això que els f1 tenen forma de llàgrima, replet de formes suaus i uniformes. [Figura 13]



*[Figura 13] Representació de la forma de llàgrima del F1*

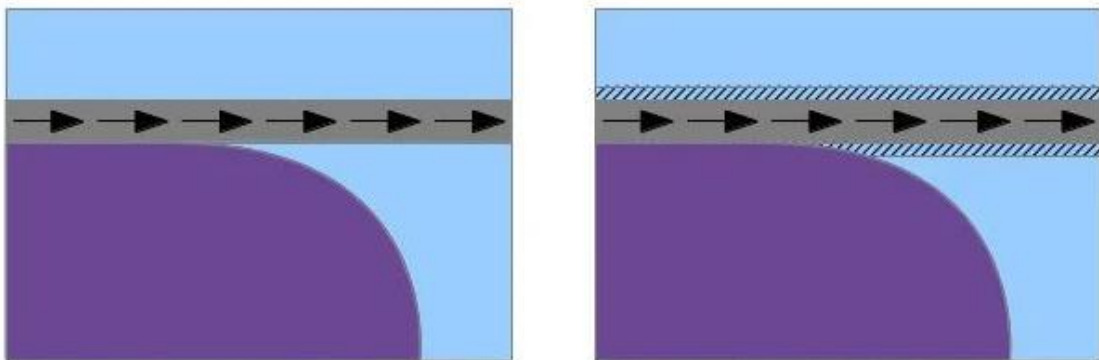
Ara que entenem perquè és important aquest fenomen anem a profunditzar una mica perquè es produeix.

1.- Anem a imaginar-nos que injectem un raig d'aire just per sobre d'una superfície que es corba al final. Suposarem també que el raig i la superfície són prou amples com per poder menysprear els efectes que exerceix l'atmosfera pels costats.

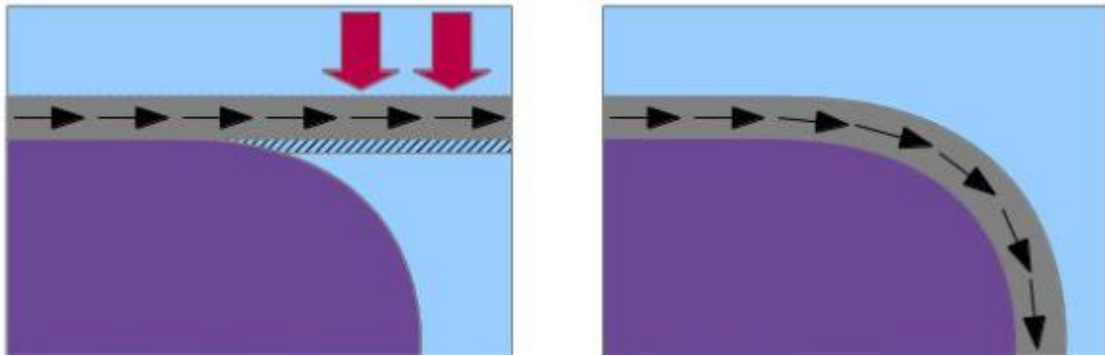
2.- Una de les propietats de l'aire, és el petit fregament existent entre capes adjacents (és el que coneix com viscositat), així que aquest fregament farà que el raig comenci a "arrossegar" l'aire per sobre i per sota. Es creen d'aquesta manera, dues zones de baixa pressió. Una per sobre, i l'altra per sota del raig.

3.- La zona de baixa pressió situada per sobre del raig, és ràpidament compensada per la resta de l'atmosfera, que omple el buit creat. Això no pot passar a la zona confinada entre el raig i la superfície, a la qual la resta de l'atmosfera no té accés, i que per tant estarà a una pressió menor que la part situada per sobre del raig. En aquesta situació, la major pressió en la part superior, "empenyerà" al raig cap a la superfície, fent que s'acosti fins que s'igualin les pressions.

4.- Aquest procés es repeteix, fent que el raig s'acosti més i més a la superfície, fins a acabar corrent enganxat a ella.



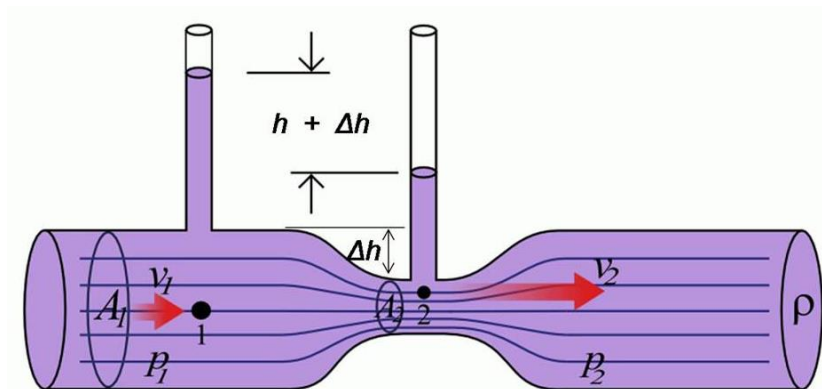
[Figura 14] Il·lustració per entendre la explicació 1 i 2



[Figura 15] Il·lustració per entendre la explicació 3 i 4

### 3.2 Efecte terra

L'efecte terra es basa en el fenomen físic més important a l'hora de generar la càrrega aerodinàmica, l'efecte Venturi. Aquest estableix que quan reduïm la secció d'un conducte per el qual i circula un fluid, es provoca un augment de la velocitat d'aquest sempre i quan es conservi el cabal ( $Q = \frac{v}{s}$ ), doncs bé, el fet d'augmentar la velocitat del fluid provoca una disminució de la pressió [Figura 16].

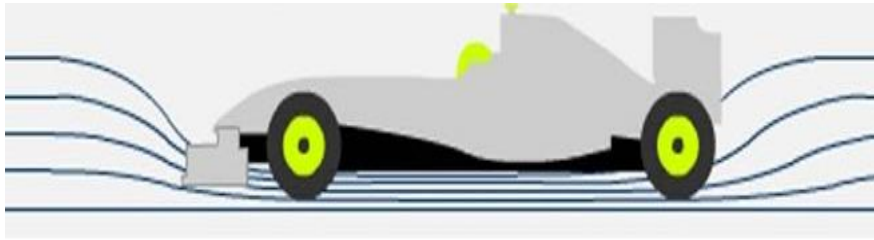


[Figura 16] Efecte Venturi

Si la pressió en aquest tram de secció és inferior a la que l'envolta, que en cas de ser a l'aire lliure és l'atmosfèrica, tenim una diferència de pressions que provocarà una força que anirà des d'on la pressió es més alta (Part superior del f1) , cap a la baixa (part inferior), generant així la carga aerodinàmica que volem, on el f1 és l'element que



provoca aquesta disminució de la secció [Figura 17] que genera la força sobre la carrosseria [Figura 18].



*[Figura 17] Il·lustració del pas del aire per sota el cotxe*



*[Figura 18] Direcció i sentit del "downforce"*

Cal mencionar que aquest fenomen no té tanta eficàcia com fa uns anys, ja que abans s'utilitzaven uns faldons laterals que impedièren que l'aire s'escapés per les parts laterals del fons pla, i canalitzaven tot l'aire cap al difusor, però avui en dia això està prohibit per motius de seguretat que explicarem en el apartat corresponent.

### 3.3 Alerons

Els F1 tenen dos tipus d'alerons, l'aleró davanter i el posterior, amb funcions ben diferents.

L'aleró davanter, per sobre de tot, té l'objectiu d'adreçar el flux d'aire. Inevitablement a mesura que el monoplaça avança es va trobant amb una paret d'aire i és l'aleró davanter el que tria a quina part del monoplaça va aquest aire. L'objectiu és evitar que l'aire toqui les rodes, el que generaria un flux molt turbulent.

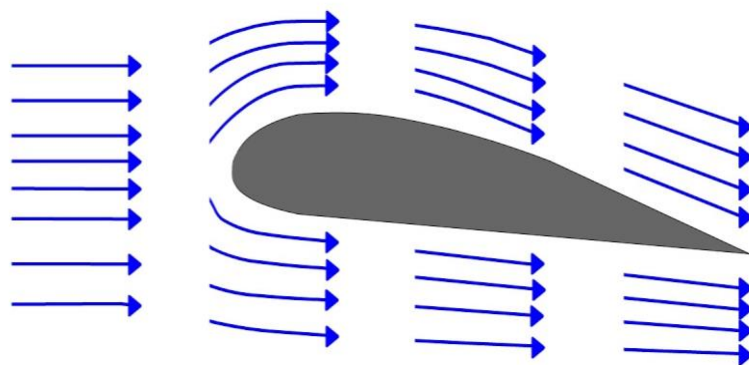


La part externa de l'aleró desvia el flux cap a fora del monoplaça [Figura 19] i la part interna ho fa cap als pontons. Només una petita part, la central, s'encarrega de general càrrega aerodinàmica, encara que minúscula en comparació amb la resta de components del monoplaça. És a dir, l'aleró davanter s'encarrega d'anar obrint amb intel·ligència el mur d'aire.



[Figura 19] Flux d'aire a través del aleró davanter

L'aleró posterior segueix el mateix principi que l'ala d'un avió però justament al revés, doncs com veiem el perfil del ala [Figura 20] quan busquem sustentació per poder volar, a través del perfil del ala, fem que l'aire circuli més ràpid per la part superior, que com ja he explicat anteriorment, més velocitat implica menys pressió, per tant si tenim més pressió a la part inferior que superior, crearà una força cap a dalt que ens permetrà volar, doncs be, en l'aleró posterior d'un monoplaça el perfil és a revés, la força és generada cap al terra, i això ens generarà carga aerodinàmica.



[Figura 20] Perfil de l'ala d'un avió

Per provocar que l'aire circuli més ràpid per on volem, simplement l'obliguem a recórrer més distància en el mateix temps. Per eliminar aquesta força que no ens interessa en les rectes, doncs ens frena, la FIA (Federation Internationale de l'Automobile) qui regula la normativa dels F1, va crear el DRS (drag reduction sysyem) que converteix l'aleró, en un aleró mòbil, que s'obra i deixa passar l'aire i així reduir el "drag", la resistència aerodinàmica a l'avanç [Figura 21.]



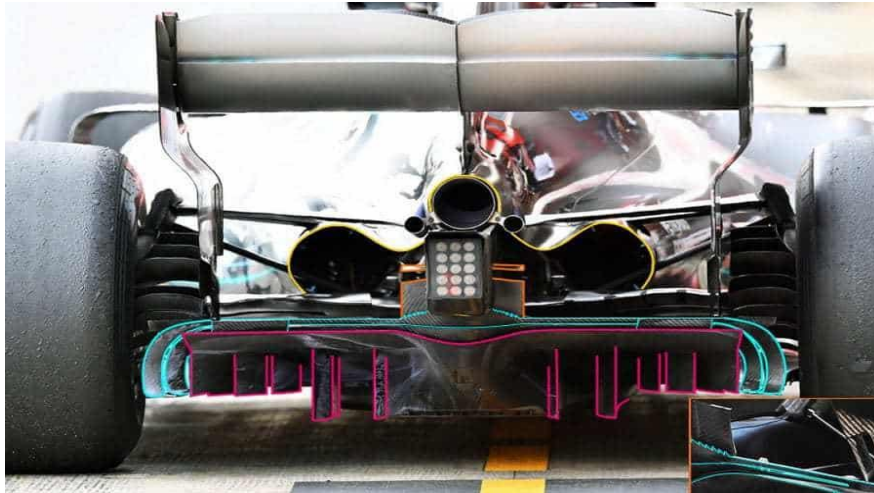
[Figura 21] DRS

### 3.4 Difusor

El difusor va molt lligat als fons pla del cotxe, on intervé l'efecte terra ja explicat, i la seva funció és optimitzar al màxim aquest fenomen tant important i que tanta carga aerodinàmica genera.

És un element situat a la part posterior del cotxe [Figura 22], sota del aleró posterior i a continuació del fons pla que permet l'extracció del aire que circula sota el cotxe, al afavorir l'extracció d'aquest aire, els difusors fan augmentar la velocitat del aire que circula per sota del monoplaça, com més alta sigui aquesta velocitat, menys pressió i per tant més força generem.

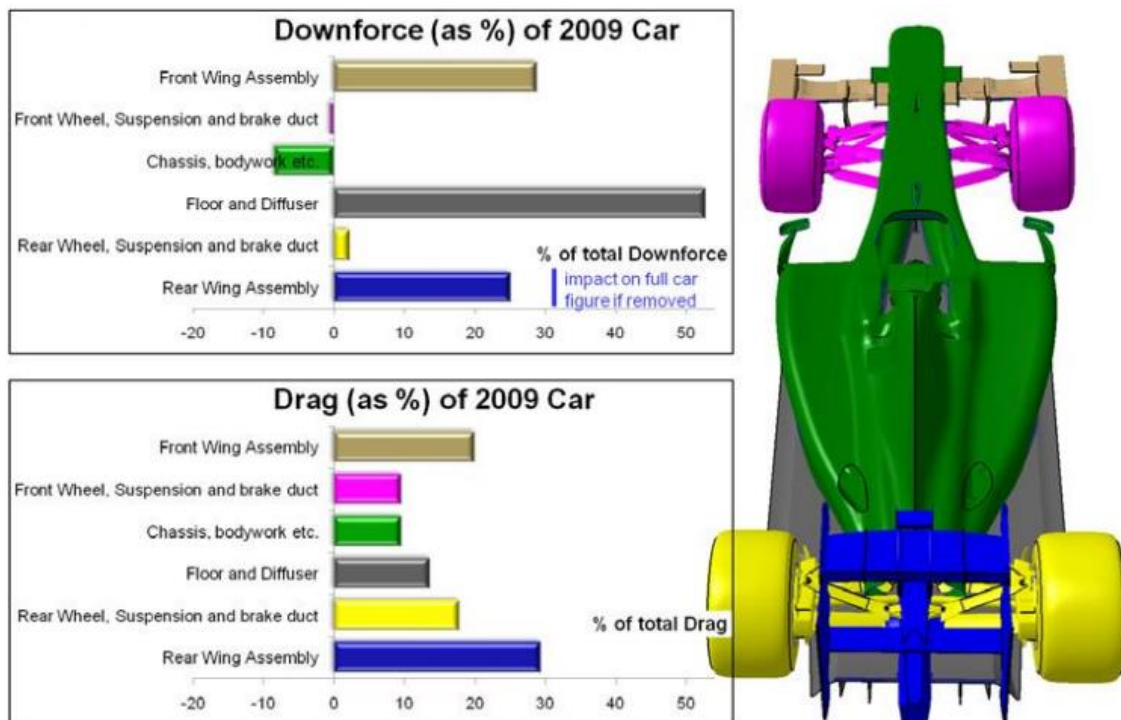
Apart tenen una altra funció que és adaptar la velocitat de l'aire que surt del fons pla a la de l'ambient, aconseguint així disminuir el màxim les turbulències que s'hi generen. El difusor pot arribar a generar fins al 40% de tota la carga aerodinàmica del f1.



[Figura 22] Difusor d'un F1

### 3.6 Anàlisi de la carga aerodinàmica generada i del drag

Està clar que totes les parts del cotxe no poden ajudar a generar càrrega aerodinàmica, n'hi ha que estan per altres motius, com el xassís que serveix per salvaguardar el pilot i la resta d'elements que l'envolten com el motor, o d'altres factors inevitables com les rodes, que al no anar cadenades per normativa, generen moltes complicacions aerodinàmiques com el drag, del qual parlaré més endavant però bàsicament el la resistència aerodinàmica que ofereix un cos al ser travessat per l'aire. Inclús tenim elements que son beneficiosos per la aerodinàmica en corbes, però perjudicials en rectes, com l'aleró posterior. Anem a estudiar ara com interactua l'aire amb cada part. [Figura 23].



[Figura 23] Interacció del aire amb les diferents parts del cotxe.

Com podem veure, el 50% de la càrrega aerodinàmica la genera el fons pla i el difusor, essent aquesta la més determinant, després tenim un 25% per al aleró davanter, i un altre 25% pel aleró posterior, completant així el conjunt que genera el “downforce” requerit per al nostre monoplaça. Un fet curiós és que el xassís conjuntament amb els “bargeboards”, que és un element situat al lateral que serveix per guiar el flux d’aire, generen força de sustentació, fet contraproductiu però inevitable.

Després podem veure també, quines són les parts que més “drag” ens generen, que són en primer lloc l’aleró posterior, el davanter, les rodes posteriors en conjunt amb la suspensió, i després amb una menor influència ens queda el fons pla i difusor, el xassís i les rodes davanteres que ajudades pel aleró davanter com he comentat anteriorment, no ens frenen tant en rectes com ho farien sense ell.

### 3.6 Drag

El drag, o resistència aerodinàmica, és una força oposada al moviment que rep qualsevol cos que tingui que desplaçar-se a través del aire, en el nostre cas, un cotxe. Però, de que depèn? Doncs fonamentalment de 4 factors que són les fonts de resistència:

-La forma, és la que és deu al volum, i la distribució del volum del cos. Depèn si és més alt, més baix, amb arestes més quadrades o més arrodonides.

-La fricció superficial és la fricció de l'aire amb la superfície del vehicle.

-La induïda és la que provoquem nosaltres per generar càrrega aerodinàmica, és per això que els F1 no tenen tanta velocitat punta com si té per exemple un superdeportiu com un Bugatti Chiron, tot i tenir una potència semblant, i es per això també que ens els cotxes quotidians, gairebé no hi ha alerons ni altres elements aerodinàmics, doncs ens farien augmentar molt la resistència al avanç, i per tant en el consum.

-La interferència és la produïda quan l'aire que prové d'una part del vehicle xoca contra l'aire que prové d'una part diferent, fenomen que passa sovint amb els retrovisors, doncs la carrosseria expulsa part de l'aire cap a ells, mentre els retrovisors fan el mateix contra la xapa del cotxe, al xocar es produeixen turbulències que afecten, encara que poc, a la resistència aerodinàmica.

Tot aquest conjunt de fenòmens es relacionen entre ells en una sola fórmula, la resistència aerodinàmica:

$$R_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S_F \cdot C_x$$

On:

$\rho$  = Densitat de l'aire.

$v^2$  = Velocitat del cos al quadrat .

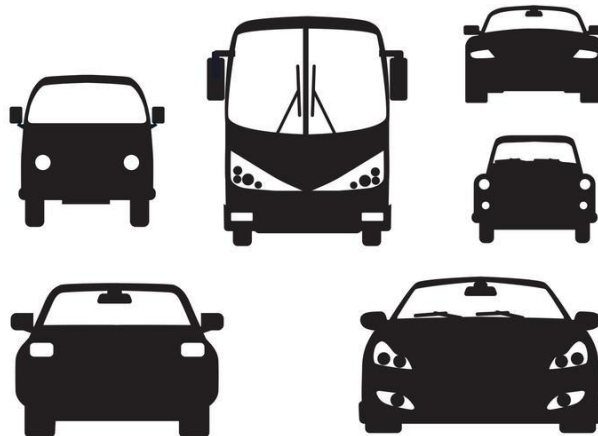
$S_F$  = Superfície frontal del cos.

$C_x$  = Coeficient de resistència aerodinàmica.

Anem a comentar els diferents termes de la fórmula.

En primer lloc tenim la densitat del aire, que sol dependre de l'altura respecte el nivell del mar on tinguem situat el cos, i de la temperatura, però són 2 factors que no depenen de nosaltres, i que per tant, són variables independents. En segon lloc tenim la velocitat, que és l'únic terme elevat al quadrat, i per tant és el factor més determinant en la força que s'oposa en el moviment, és per aquest motiu que en un cotxe es dispara el consum si passem d'anar a 100 km/h a 120 km/h o més, però que un cop més, en el cas d'un cotxe de competició sempre anirem el més ràpid possible, i no podem fer res per contrarestar aquest factor. D'aquest conjunt  $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$  se'n diu Pressió dinàmica.










Ara passo a comentar els termes on si que podem incidir per tal de disminuir la resistència aerodinàmica, que són la  $S_F$  i el  $C_x$ . La superfície frontal és l'àrea que ocupa el cos, vist des de davant [Figura 24], i per tant, defineix la quantitat d'aire que cal apartar per a que el cotxe avanci. En un cotxe de sèrie, aquesta àrea fa entre  $2 \text{ m}^2 < S_F < 2,5 \text{ m}^2$ .



[Figura 24] Superfície frontal vista des de davant.

Aquest és el motiu per el qual els tot terrenys o els SUV tenen menys velocitat punta i gasten més que un cotxe equitatiu però en format berlina o familiar. Aquest no és l'únic factor que té a veure en com un cos travessa l'aire, ens falta veure la forma en que el travessa, per quantificar la fluïdesa que té fen-ho, introduïm el terme de Coeficient de resistència aerodinàmica, un terme adimensional. El  $C_x=1$ , seria el que oposa una planxa quadrada vertical de 1m de costat, que és el valor de referència, i a partir d'aquí, s'estableix com un cos es capaç de penetrar en l'aire. La forma més senzilla d'entre com funciona és imaginar-nos un cub, que té arestes vives i angles de 90 graus, doncs serà

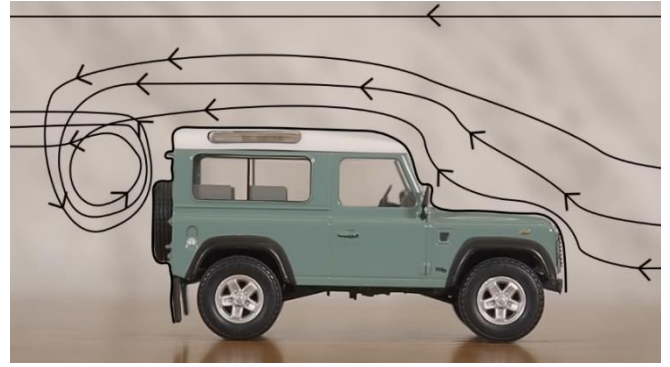
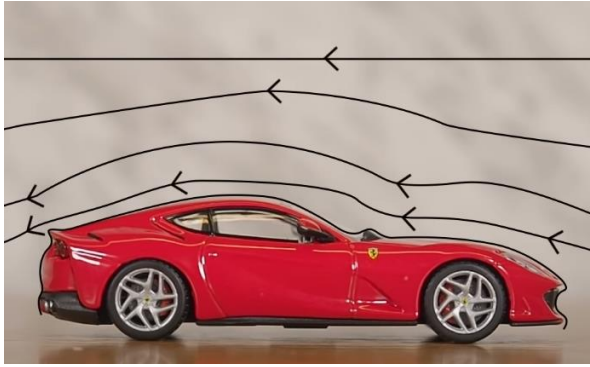
difícil de travessar, en canvi, una gota d'aigua, adopta la forma òptima al caure, doncs el propi aire fa d'escultor [Figura 25].

Shape		Drag Coefficient
Sphere		0.47
Half-sphere		0.42
Cone		0.50
Cube		1.05
Angled Cube		0.80
Long Cylinder		0.82
Short Cylinder		1.15
Streamlined Body		0.04
Streamlined Half-body		0.09

Measured Drag Coefficients

[Figura 25] Coeficient de resistència aerodinàmica en diferents formes

Intuïtivament, podríem pensar que la part important a l'hora de reduir aquest coeficient, és millorant el frontal del cotxe, que és la part encarregada d'apartar el aire, però no és així, sinó que el més important és des de la meitat fins la part posterior, que reordena l'aire i ens evita generar turbulències, ja que el que ens interessa és que les lamines d'aire que circulen al voltant del cotxe, i que aquest modifica a l'avançar, sigui un flux laminar, que és el que ofereix menys resistència, mentre que si és turbulent, aquesta resistència serà màxima. Per millorar-lo, necessitem que acabi de una forma arrodonida i no en una secció brusca [Figura 26 i 27]. Un altre punt important també, és l'aire que circula per sota o que travessa el vehicle, que com menys sigui millor, es per això que les marques sempre intenten que l'obertura per la refrigeració del motor, tant en els utilitaris com en la F1, sigui la mínima possible sense comprometre la fiabilitat.



[Figura 26 i 27] Impacte de la carrosseria del cotxe sobre el flux d'aire que travessa.

Ara anem a veure exemples concrets, en primer lloc, un cotxe esportiu, com el de la figura 15, seria per exemple un Mercedes CLA, té un  $C_x = 0,23$  mentre que un tot terreny, com el de la figura 16, tindriem el Mercedes Classe G que té un  $C_x = 0,40$ . Doncs bé, un F1 té un  $C_x > 1$ , degut a la brutal força induïda al generar la increïble càrrega aerodinàmica i a que les rodes no estan carenades, i que per tant, frenen i molt, el seu avanç, però que per normativa de la FIA no es poden modificar.

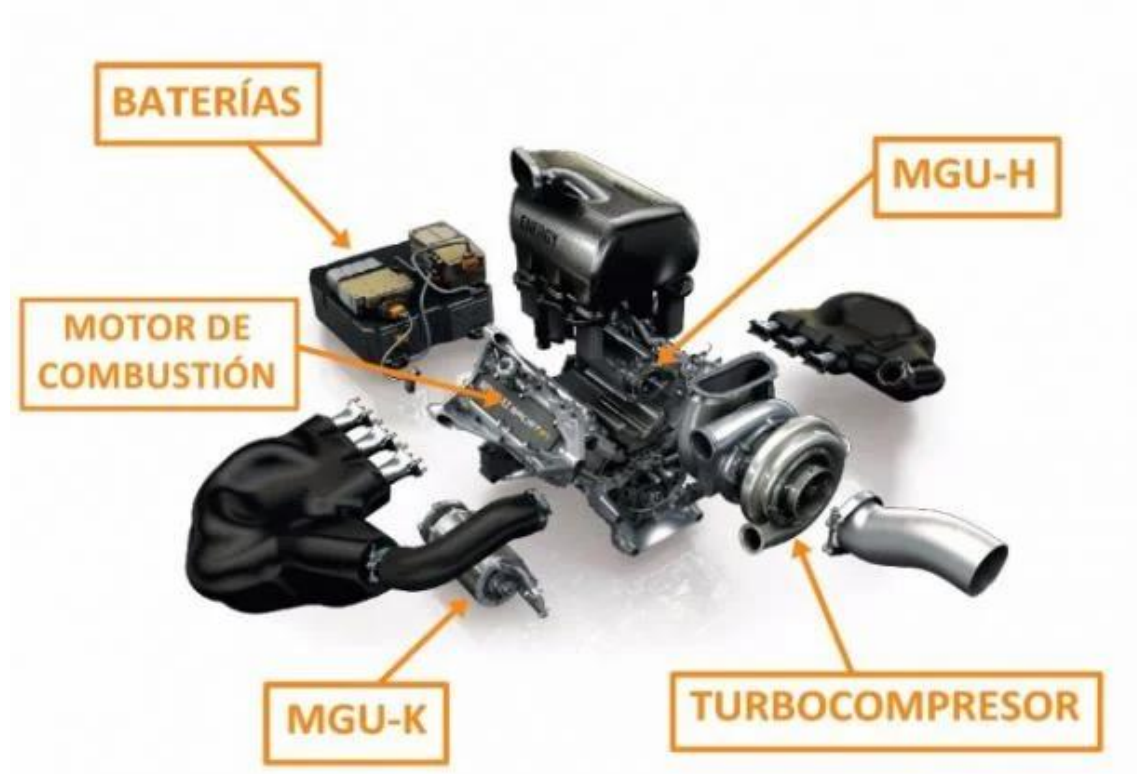
Formes de millorar aquest coeficient en la F1 son optimitzar la refrigeració del motor, aconseguint reduir així les obertures dels pontons, modificar l'angle del aleró posterior, si no ens cal tanta càrrega aerodinàmica, en funció del circuit, on per exemple el de Monza, Italia hi ha molta recta i ens interessa la màxima velocitat punta o intentant millorar la canalització d'aire que comença en l'aleró davanter per tal d'aconseguir un flux el màxim laminar possible.



## 4. Unitat de potència

El sistema de propulsió de un F1 ve donat per la unitat de potència V6 turbo híbrid, capaç d'entregar una potència de 1.000 CV, que té una massa màxima de 145 Kg i consumeix uns 34L/100km amb un dipòsit màxim de 105L, aquest consum del motor híbrid és molt inferior al dels anteriors tèrmics V8 de 2.4L que gastaven uns 65L/100km.

Per què unitat de potencia i no “motor”? Doncs perquè consta d’un motor convencional tèrmic, un turbocompressor, dos sistemes de recuperació d’energia híbrida -MGU-K, MGU-H-, una bateria per emmagatzemar energia i una centralita electrònica [Figura 28]. En total, sis elements diferents dels que els pilots només poden utilitzar un nombre limitat d’unitats per temporada sense incórrer en sanció, fet que en parlarem més endavant en l’apartat de fiabilitat. Ara anem a analitzar cada part d’aquest conjunt.



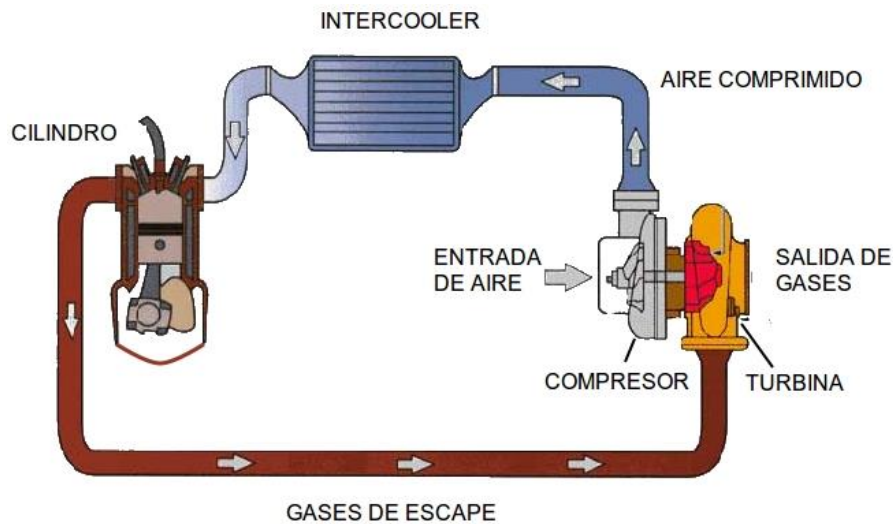
[Figura 28] Components de la unitat de potència.

## **4.1 Motor de combustió interna (ICE)**

És el motor tèrmic ICE “internal combustion engine” que tenen la majoria de vehicles actuals, un motor V6 de 1.6 litres limitat a 15.000 revolucions per minut, que genera uns 800 CV de potència. Al ser un V6, es produeix una explosió cada 120º de gir del cigonyal, fet que és pitjor que els anteriors V8, això fa que siguin menys suaus i per tant que els seus elements estiguin sotmesos a una major fatiga, generant així menys fiabilitat. El seu funcionament és gairebé igual al d'un cotxe de carrer, on es produeix la combustió interna alimentat per una barreja de gasolina i aire, que a l'explotar a causa d'una espurna produïda per la bugia que hi ha a la part superior de cada pistó, produeix una força lineal que a través del conjunt biela-manovella genera un par motor al cigonyal, on es transmet cap a la increïble caixa de canvis que tenen els F1, doncs en un mida molt reduïda, és capaç de desmultiplicar la velocitat de gir i així augmentar el par que arribarà a les rodes a través dels paliers. Aquestes caixes de canvis de 8 velocitats tenen una relació de marxes molt particulars, doncs la primera s'estira fins els 80km/h i la vuitena no s'engrana fins arribar a gairebé els 300 km/h, per tant entre aquets 220km/h es troben les 6 marxes restants, optimitzat així perquè és el rang de velocitats més habitual en els F1 i on ens interessa tenir el màxim par.

## **4.2 Turbocompressor**

El turbocompressor és un dels elements més complicats, limitat a 100.000 rpm és qui s'encarrega de sobrealimentar el motor de combustió, el que fa és recollir els gasos d'escapament que surten del motor per a moure una turbina, aquesta està unida a través d'un eix solidari a una altra turbina que recull i comprimeix aire de l'exterior, aquest nou aire té oxigen que enriqueix la barreja oxigen-combustible, però abans d'arribar als cilindres, circula a través de un bescanviador de calor “intercooler” [Figura 29] on s'enfreda i així millorar l'eficiència tal i com em estudiat en Termodinàmica, on la diferència de temperatura entre el focus calent i el fred, dictamina el rendiment de la màquina. Al utilitzar els gasos d'escapament que s'anaven a alliberar a l'exterior, incrementa l'eficiència del conjunt per tal d'aconseguir els 34L/100 km de consum anomenat anteriorment.



[Figura 29] Recorregut dels gasos al llarg de la unitat de potència

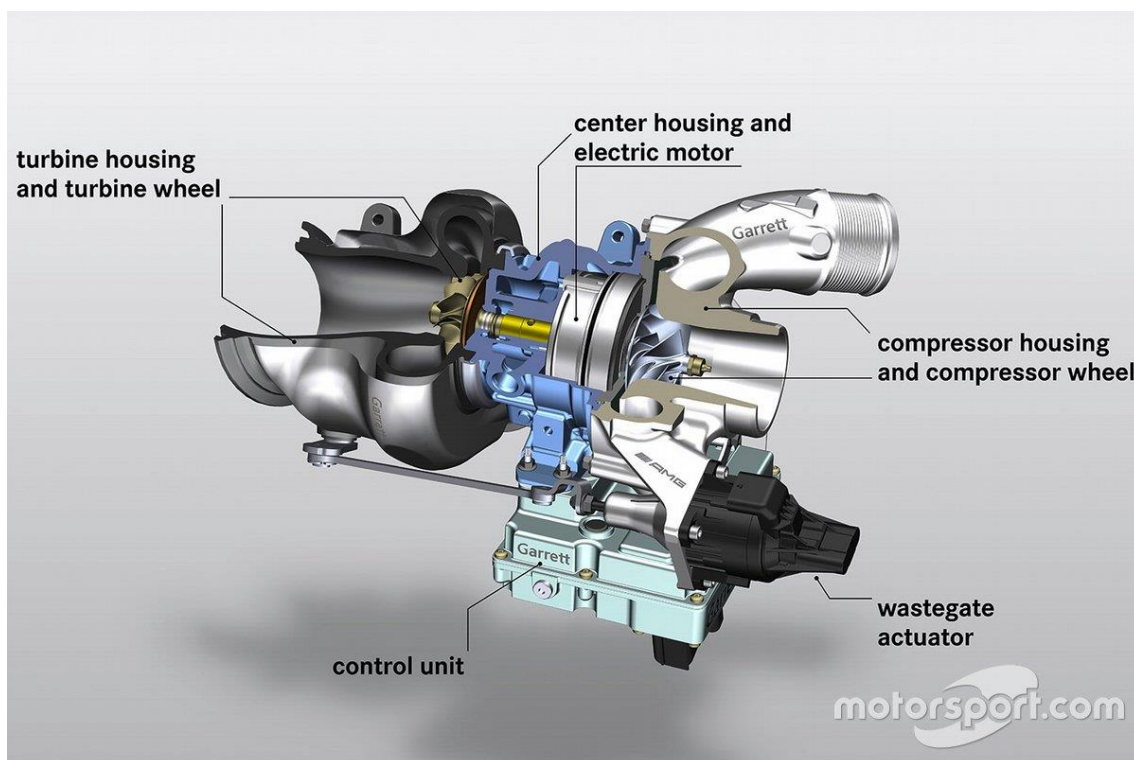
### 4.3 MGU-K

Anteriorment era conegut com KERS “Kinetic Energy Recovery System”, però que degut al ser alt cost, s’ha substituït pel MGU-K “Motor Generator Unit-Kinetic”, està acoblat al cigonyal i per tant a la sortida del motor, no pot excedir els 7 kg i la velocitat de gir està limitada a 50.000 rpm i té dos funcions depenent de la situació, generar energia elèctrica o transmetre energia al cigonyal. Per tant pot treballar com a generador, o com a motor elèctric.

Per generar energia el que fa és aprofitar la velocitat i inèrcia de gir que té el cigonyal durant les frenades, on el motor segueix funcionant però la seva energia no s’utilitzaria per impulsar el vehicle, llavors recarrega les bateries per a així emmagatzemar energia, quan realitza aquesta funció, només pot recarregar 2 MJ/volta i quan necessitem l’energia, el que fa es ajudar al motor a fer girar el cigonyal i així guanyar alguns cavalls de potència, gastant com a màxim 4MJ/volta.

## 4.4 MGU-H

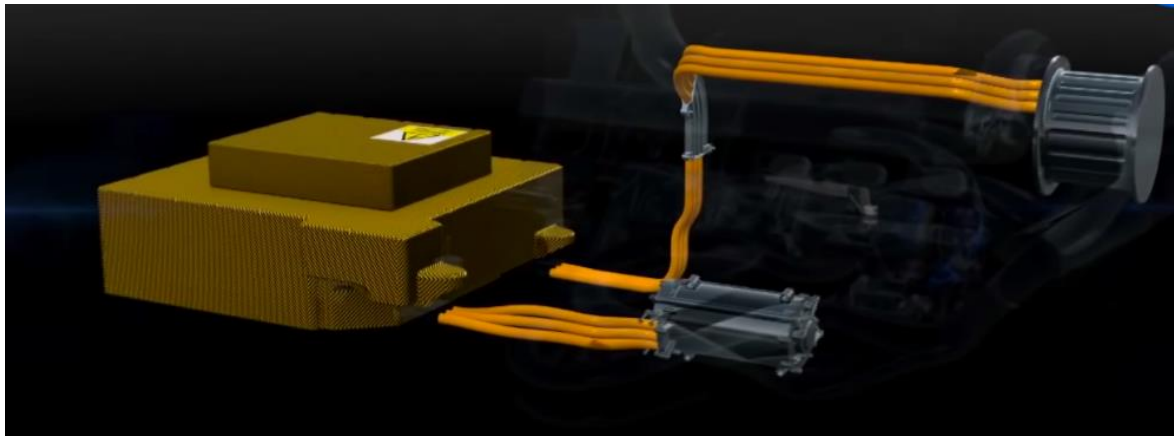
Per les seves sigles en anglès “Motor Generator Unit-Head”, aquest està acoblat a l'eix de les turbines del turbocompressor, i per tant aprofita els gasos d'escapament per a produir energia elèctrica [Figura 30]. Aquesta es pot utilitzar per alimentar directament al MGU-K o per a recarregar les bateries per utilitzar l'energia més endavant. Té un altra funció que és controlar el famós Turbo-Lag, fenomen que experimentem tots en els cotxes amb turbocompressor a l'accelerar, on notem que el cotxe tarda al voltant d'un segon a canviar de velocitat bruscament, això és degut a que el turbo necessita els gasos d'escapament per a poder funcionar, fenomen que no succeeix en els atmosfèrics i que evitem amb aquest sistema com explicaré més endavant. A diferència del MGU-K pot generar tanta electricitat com els enginyers siguem capaços de aconseguir, amb una massa de 4 kg i 145.000 rpm com a màxim.



[Figura 30] il·lustració del MGU-H

## 4.5 Bateries

Són les encarregades d'emmagatzemar i transferir la energia generada en el MGU-K i MGU-H. Tenen una massa màxima de 25 kg tenint en compte també els diferents sistemes de seguretat i no poden superar els 4 MJ de carga. Amb aquesta capacitat, poden entregar un extra d'energia al motor durant uns 33 segons per volta, sempre i quan estigui carregada al màxim.[Figura 31]



*[Figura 31] Bateria i cablejat pertinent*

## 4.6 Centralita electrònica.

S'encarrega de controlar tots els paràmetres del cotxe, és com un ordinador que a través del volant, el pilot hi pot accedir i canviar entre diferents mapa motor i així adaptar la quantitat de combustible i/o d'energia utilitzada en cada moment depenent si es vol estalviar-la o gastar-la. També és important a l'hora de calcular la diferència de temps entra la volta actual i l'objectiu, distàncies amb els pilots de davant, temperatures de diferents elements, ja sigui pneumàtics, motor, etc i altres paràmetres que el pilot i l'equip necessiten saber durant el transcurs de un gran premi.

## 4.7 Com interactuen entre ells?

Per a entendre com i quan interactuen entre ells diferenciarem 4 etapes diferents:

**Recta:** Quan estem en plena recta, el motor de combustió utilitzarà el combustible emmagatzemat en el dipòsit per a oferir el màxim potencial, el turbo girarà a 100.000 rpm, mentrestant el MGU-H actuarà com a generador i el MGU-K com a motor, entregant la energia disponible al motor de combustió.

**Frenada:** En aquest punt és quan el MGU-K aprofita la velocitat i inèrcia de gir del cigonyal, per generar energia elèctrica que anirà directament a les bateries, exactament igual que ho faria un cotxe híbrid. Mentrestant, la injecció de gasolina al motor es redueix dràsticament.

**Acceleració:** En aquest punt es torna a injectar combustible per a augmentar les revolucions del motor ajudat pel MGU-K que actuarà com a motor. Però que passa amb el turbocompressor? Doncs que necessita que es comencin a accelerar els gasos d'escapament per a funcionar, fet que produeix el famós "Turbo-Lag" assumible per als utilitaris però inadmissible en competició, es per això que en aquest punt és on el MGU-H actua com a motor, ajudant a accelerar el turbo per a que aquest rendeixi a la seva velocitat optima, que un cop assolida, tornarà a ser un generador com en vist abans en la recta.

**Avançament:** És el punt on ens interessa la màxima potencia, limitada a un cert límit de temps degut a que es descarregarà la bateria molt ràpid, però ens pot ser molt útil per guanyar posicions, en aquest punt, les diferències amb la recta, es que el MGU-H destinarà tota la seva energia a alimentar directament el MGU-K que a la seva vegada ajuda a accelerar el cigonyal, i també el motor de combustió es ficarà en mode "Enriquiment" on s'injecta la màxima quantitat de gasolina aconseguint així la punta de potència màxima que pot assolir la unitat de potència.

## 5. Lleugeresa i seguretat

Sempre hem sentit a dir que un cotxe com més lleuger millor, que és inclús més important que la potència, però perquè?

Doncs bé, quan hom pensa en cotxe de competició, com és un F1, pensa en un cotxe que corri molt en rectes, que tingui una alta velocitat punta i una bona acceleració, i per això es pensa en un motor potent que generi molts cavalls de potència però és realment l'òptim? Com més potència millor? Doncs per una carrera de "Drag" que és bàsicament una recta doncs segurament sí, però hi si el circuit té corbes? De que serveix tanta potència, hem de tenir en compte que quants més cv tingui un motor més pesa, doncs per generar tanta potència a de tenir més cilindres, aquets han de ser mes grans, hem d'afegir varis turbo-compressors que tenen una elevada massa, a més a més els diferents components com el cigonyal, transmissió, canvi de marxes, etc hauran de suportar més força, fet que requerirà una major quantitat de material, diàmetres més grans i en definitiva, més i més massa, en canvi, si aconseguim treure massa sense alterar les propietats del vehicle, és a dir, utilitzant materials més lleugers com la fibra de carboni, o reduint la seva grandària aprofitant millor els espais interiors, aconseguirem, ja no només una major velocitat i acceleració, fet demostrable simplement aplicant la segona llei de Newton, que diu que per a una mateixa força, que en el nostre cas produeix el motor, si reduïm la seva massa ens augmenta l'acceleració, sinó que també millorarem el seu pas per corba, doncs la inèrcia del vehicle que com sabem depèn de la massa d'aquest, es reduirà, fent al cotxe més àgil.

És per això que cotxes amb 1.500 cv com el Bugatti Chiron arriben a més de 400 km/h però cotxes amb menys potència però menys massa com el Lamborghini Huracán [Figura 32 i 33] amb menys de la meitat, 640 cv són molt més ràpids en circuit, tenint inclús records en circuits històrics com el de Nurburing, Alemanya.



*[Figura 32 i 33] Imatge del Bugatti Chiron i Lamborghini Huracán respectivament*

Però dins d'aquesta obsessió que tenen els enginyers per reduir la massa i guanyar temps, no podem passar per alt el fet més important, que han de ser segurs, fet que compromet i molt el pes doncs pràcticament la única manera de fer una estructura més resistent és incrementant el gruix de les parets que el formen, fet que augmenta la massa necessàriament, però han de tindre un xassís capaç de resistir impactes i que han de passar els famosos "Crash tests" que son probes de xoc obligatòries per demostrar no només en càlculs sobre paper, sinó en probes reals, l'eficàcia d'aquets suportant tant impactes frontals com laterals a diferents velocitats, i sinó ho fan, no seran legals ni per circuit ni molt menys rebran la homologació per a circular pel carrer en cas d'altres tipus de cotxes com els esmentats anteriorment, que poden circular també per carretera.



## 6. Prospectiva i Conclusions

El futur de la F1, és anar cap als cotxes elèctrics cada vegada més, ja vam passar fa pocs anys del motors V8 que tant bé sonaven però que tant consumien, als actuals V6 híbrids en una clara relació amb el món dels cotxes utilitaris que utilitzem cada dia, doncs al final, la F1 és un mitjà pel qual les diferents marques com Mercedes, Ferrari, Aston Martin, Alfa Romeo, etc fan publicitat d'elles mateixes, i si al final aquestes marques tenen cada vegada més en compte l'impacte ambiental i per tant tothom circula amb motors híbrids o elèctrics, aquest serà el camí de la competició.

En quant a materials, està clar que investiguem cada dia més i més materials compostos per a aconseguir unes millors prestacions, ja sigui en quant a resistència o diverses propietats, com en cost, doncs és tant o més important que les pròpies propietats físiques i químiques ja que a de ser viable per a implementar-ho.

Per últim cada dia aprenem més i més gràcies a les hores invertides en el túnel de vent, com aconseguir generar càrrega aerodinàmica d'on sigui, com reduir la resistència aerodinàmica o com canalitzar i conduir millor l'aire, només cal veure com els cotxes a finals de temporada són més ràpids que a l'inici, pel enorme desenvolupament d'aquets. Cada any tenim cotxes més i més ràpids i el límit encara és incert, doncs els enginyers sempre aconseguen millores per a ser més competitius, la única restricció que tenen es el pressupost i la normativa de la FIA.

Per acabar, volia deixar escrit una conclusió a la que he arribat al llarg de la investigació que he anat fent, i és que tot i que la majoria de lleis físiques que regeixen la nostra vida ja estan descobertes i estudiades des de fa anys, gràcies a la investigació aconseguim combinar-les d'una forma més òptima, aconseguint millors resultats simplement pensant i provant combinacions noves, on si la bona propietat que té A és combina amb la de B, aconseguirem un material encara millor, una forma de superar l'aire encara més òptima o una forma d'aprofitar l'energia que ens suposi un millor rendiment, en definitiva, que el futur no el sap ningú, però tots sabem que l'únic límit és la nostra creativitat.

## 7. Referències

### 7.1 Webgrafia

-Íñigo Fernández Florez, ¿Cómo se fabrica un chasis de Fórmula 1? La construcción, (03/06/2016). <https://www.thebestf1.es/se-fabrica-chasis-formula-1-la-construccion/>

-Sebastián Lorenzo, Fibra de carbono: guía básica para conocer uno de los materiales más importantes de la F1 actual (06/06/2013). <https://www.caranddriver.com/es/formula-1/a28944/fibra-de-carbono-guia-basica-para-conocer-uno-de-los-materiales-mas-importa/>

-José Lus Gómez, Qué es la fibra de carbono, ese material que por sí solo no vale para nada y que con resina lo vale todo. (23/11/2020). <https://www.diariomotor.com/que-es/tecnologia/fibra-de-carbono/>

-Así es como se construye un coche de Fórmula 1, (27/08/2018). [https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-como-construye-coche-formula-1-201808270108\\_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-como-construye-coche-formula-1-201808270108_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F)

-Álvaro Pendás, Carga aerodinámica, cómo se cuantifica y cuál es su importancia, (29/04/2020). <https://www.motor.es/noticias/carga-aerodinamica-202066977.html>

-Alberto Rodríguez, ANÁLISIS TÉCNICO – CARGA AERODINÁMICA – DOWNFORCE, (24/07/2014). <https://albrodpulf1.wordpress.com/2014/07/24/analisis-carga-aerodinamica-downforce/>

-Carlos Ojea, El efecto Coanda, (27/04/2012) <https://www.f1aldia.com/15058/el-efecto-coanda/>

-TÉCNICA F1: ¿QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA EL EFECTO SUELO?, (10/01/2016)

<http://planetadelmotor.com/efecto-suelo-f1-que-es/>

-Isaac, Motores en la Fórmula 1: de los V8 a los V6 Turbo Híbridos, (17/06/2018).

<https://www.actualidadmotor.com/motores-formula-1-v8-v6-turbo-hibridos/>

-Albert Fàbrega, Diferents documentals i explicacions que realitza abans de cada gran premi al canal Movistar F1 (2018-2021)

-Toni Cucurella, Explicacions sobre diversos temes relacionats amb la F1 que realitzava al canal "La sexta" (2013)

[https://www.youtube.com/watch?v=U-xqVN1MUBA&ab\\_channel=VictorF1](https://www.youtube.com/watch?v=U-xqVN1MUBA&ab_channel=VictorF1)

-Micheal Ashwanth Rosario Vazhava Rayen, NUMERICAL EVALUATION OF UNDERBODY AERODYNAMICS IN F1 2022 CAR, (01/10/2020)

[https://www.researchgate.net/publication/345693388\\_NUMERICAL\\_EVALUATION\\_OF\\_UNDERBODY\\_AERODYNAMICS\\_IN\\_F1\\_2022\\_CAR](https://www.researchgate.net/publication/345693388_NUMERICAL_EVALUATION_OF_UNDERBODY_AERODYNAMICS_IN_F1_2022_CAR)